

Artículo/Article
Sección B/Section B
Vol. 16, nro. 2
e3295

Evaluación de algunos atributos de la calidad física y fisiológica de semillas de maíz dulce (*Zea mays sacharata*) bajo diferentes condiciones de almacenamiento y época de cosecha

Liliana Atencio[1]*, José Tapia[1], Wilson Barragán[2], Emiro Suárez[3], Abelardo Diaz[1], Iván Pastrana[4]

[1]Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA, CI. Turipaná, Colombia.

[2]Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA, CI. El Nus, Colombia.

[3]Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA, Carmen de Bolívar, Colombia.

[4]Universidad de Córdoba, Colombia

*Autor para correspondencia/Corresponding author: latencio@agrosavia.co

Evaluation of some physical and physiological quality attributes of sweet corn (*Zea mays sacharata*) seeds under different storage conditions and harvesting season

Resumen

En Colombia el maíz dulce (*Zea mays sacharata*) es de gran importancia para los productores y consumidores del grano en fresco. AGROSAVIA ha generado una nueva variedad de maíz dulce para pequeños productores de la región Caribe, los cuales pueden producir su propia semilla. El objetivo del estudio fue evaluar la calidad fisiológica de semilla de maíz dulce bajo diferentes condiciones de almacenamiento, empaques y época de cosecha. Se establecieron dos experimentos, cuarto frío y condiciones ambientales, en el Laboratorio de Química Analítica de AGROSAVIA, donde se evaluó el efecto de los empaques y la época de cosecha sobre la germinación, viabilidad, temperatura y humedad de semillas de maíz dulce. Los resultados del análisis de varianza mostraron que la germinación y viabilidad de la semilla en condiciones de cuarto frío (10 °C y 60 HR) fue mayor (P<0,05) cuando se almacenó en empaque de plástico (81,9 %), en comparación al papel (76,3%). Mientras que, bajo condiciones de temperatura ambiente (28 °C y 85 HR) el mayor porcentaje de germinación (P<0,05) se presentó en el empaque plástico desde los 60 a los 120 días de almacenamiento en semilla cosechada a los 90 días. Acorde a este estudio la semilla de maíz dulce se puede cosechar en madurez fisiológica (90 días) y empacar en envases plásticos conservando la calidad hasta por 120 días. En caso de ser empacada en bolsas de papel, la germinación se puede reducir drásticamente a partir de los 60 días de almacenamiento.

Palabras clave: viabilidad, vigor, germinación, humedad, madurez fisiológica, calidad.

Abstract

In Colombia, sweet corn (*Zea mays saccharate*) is of great importance for producers and consumers of fresh grain. Agrosavia has developed a new variety of sweet corn for small producers in the Caribbean region who can produce their own seed. The







Editado por / Edited by: María Gabriela Albán

Recibido / Received: 20/04/2024

Aceptado / Accepted: 29/07/2024

Publicado en línea / Published online: 06/03/2025

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



study aimed to evaluate the physiological quality of sweet corn seed under different storage, packaging and harvesting conditions. Two experiments, cold storage and environmental conditions, were established at the Analytical Chemistry Laboratory of AGROSAVIA, where the effect of packaging and harvest time on germination, viability, temperature and humidity of sweet corn seeds was evaluated. The seed germination and viability under cold storage conditions (10 °C and 60 RH) were higher ($P<0.05$) when stored in plastic packaging (81.9 %) compared to paper (76.3 %). For environmental temperature conditions (28 °C and 85 RH), the highest germination percentage ($P<0.05$) was presented in the plastic packaging from 60 to 120 days of storage in seed harvested at 90 days. According to this study, sweet corn seed can be harvested at physiological maturity (90 days) and packaged in plastic containers preserving the quality for up to 120 days. Paper bag treatment germination can be drastically reduced after 60 days of storage. These findings have practical implications for seed producers and small-scale farmers, providing recommendations on the optimal storage and packaging conditions for sweet corn seeds to maintain their quality and viability.

Keywords: viability, strength, germination, moisture, physiological maturity, quality.

INTRODUCCIÓN

El maíz dulce se destaca por ser un alimento con altos contenidos de azúcares, vitamina A y C y bajos contenidos de grasa, factores que se consideran de importancia en la alimentación humana [1]. Pese a los beneficios en la salud y su amplio uso en la industria, la ampliación de las áreas del cultivo está limitada en muchos casos por el rápido deterioro que presenta la semilla, que conlleva a la baja tasa de germinación y vigor de las plántulas, generando pérdidas durante las etapas de producción y almacenamiento [2].

En Colombia, este tipo de maíz se siembra en pequeñas áreas, con el uso de semillas de híbridos importados, cuyo producto se destina a la industria; y variedades mejoradas, primordialmente utilizadas por pequeños productores bajo sistemas productivos tradicionales, quienes contribuyen con su producto a la seguridad alimentaria. En este sentido se destacan las variedades de maíz dulce CORPOICA V-115 DULCE y AGROSAVIA V-116 HAWAII recomendadas para sistemas tradicionales [3], con las que el productor bajo un manejo adecuado puede obtener la semilla del ciclo anterior, almacenar y utilizar en próximos ciclos.

La semilla es la unidad de reproducción de las plantas que tiene como función la multiplicación y por lo tanto la persistencia de las especies [4]. En el ámbito agrícola, representa el principal insumo del cultivo, y determina en gran parte la sostenibilidad productiva y económica en los sistemas de producción [5]. De la calidad de la semilla, depende la aparición de problemas fitosanitarios, el desarrollo y crecimiento de las plantas, la producción y, por lo tanto, los costos generados en el sistema de producción [6,7,8]. El comportamiento de la semilla está asociados a la calidad que involucran criterios genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios, determinados por el genotipo, condiciones climáticas, labores del cultivo, madurez de la semilla, almacenamiento y conservación de la semilla.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



La calidad fisiológica de las semillas corresponde al desempeño en la germinación y desarrollo de plantas normales, que se traduce en la viabilidad y el vigor [9]. Es importante aclarar que, la germinación es el proceso mediante el cual una semilla desarrolla estructuras embrionarias y emerge como una plántula viable. El vigor de la semilla se refiere a su capacidad intrínseca para germinar y establecerse como una planta vigorosa, influenciado por factores genéticos y ambientales que determinan la viabilidad y el rendimiento de las plántulas [10]. Por otro lado, la dormancia es un estado fisiológico que impide la germinación incluso en condiciones ambientales favorables, regulado por señales internas y externas que afectan la respuesta de la semilla al ambiente [11]. Estos conceptos son fundamentales para entender los procesos de establecimiento y crecimiento de las plantas desde la etapa inicial de la semilla hasta la plántula completa. Una de las estrategias para determinar la calidad fisiológica de las semillas es mediante la evaluación de métodos convencionales como la prueba de germinación y la prueba de tetrazolio [12]; esta última técnica, permite conocer de forma específica la calidad de la semilla para su establecimiento [2]. Para evaluar la calidad fisiológica, las pruebas de vigor pueden predecir el comportamiento de un lote de semillas específico cuando es sometido a condiciones que no son del todo favorables para que emerjan las plántulas [6]. El objetivo de la investigación consistió en evaluar algunos atributos de calidad física y fisiológica de la semilla de una variedad de maíz dulce bajo diferentes condiciones de almacenamiento y época de cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Química Analítica, del centro de investigación Turipaná de AGROSAVIA, localizado en Cereté, Córdoba – Colombia, ubicado a 8° 52' de latitud Norte y 76° 48' longitud Oeste, respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 m.s.n.m.

Material vegetal

Se utilizó semilla de maíz (*Zea mays sacharata*) proveniente de un campo de multiplicación de la variedad dulce AGROSAVIA V-116 Hawaii, establecida en el semestre 2022-A.

Diseño estadístico

Se establecieron dos experimentos independientes en función de la condición de almacenamiento, en cuarto frío con temperatura media de 10 °C y humedad relativa de 60 %, y cuarto oscuro bajo condiciones ambientales, temperatura media 28 °C y humedad relativa 85 %. Cada ensayo se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial. Se consideraron como efectos los factores tipo de empaques (tanques plásticos cilíndrico con tapa de rosca de dos litros de capacidad y bolsas de papel tipo kraft de 1 kilogramo de capacidad) y momento de cosecha del maíz (90 días, madurez fisiológica y 120 días, madurez comercial). Se usaron tres repeticiones en cada experimento y la unidad experimental estuvo compuesta por un kilo de semillas.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



La investigación se llevó a cabo entre septiembre del año 2022 y julio del 2023. Durante este tiempo de almacenamiento, en ambos experimentos se realizó monitoreo de la semilla con evaluaciones cada 30 días, desde el día cero hasta los 120 días.

Variables dependientes

Viabilidad (%): Se tomaron 30 semillas por muestra, las cuales se sumergieron en agua destilada. Transcurridas 24 horas, se le realizó un corte longitudinal a cada semilla sobre el plano del embrión. De cada semilla se tomó la mitad y se colocó en un recipiente de vidrio con una solución de tetrazolio al 0.05 %, en incubadora a 25 °C por dos horas. Transcurrido el tiempo de incubación, se realizó la clasificación de las semillas en viables o no, en función a la intensidad y distribución de la coloración que presentó el embrión.

Germinación (%): Se realizó la prueba de germinación estándar entre papel [13], que consistió en colocar 50 semillas distribuidas uniformemente en cinco hileras sobre toallas de papel humedecidas con agua destilada. Después, se cubrieron con el mismo tipo de toalla húmeda y se colocaron en bolsas plásticas de cierre hermético. El conteo de semillas germinadas se realizó a los 6 días.

Contenido de humedad (%): Se determinó con un equipo portátil de lectura directa de marca AGRATRONIX, para lo cual se tomó la cantidad de semilla suficiente para llenar el vaso del equipo y registrar la lectura.

Temperatura de la semilla (°C): Se utilizó un termómetro (infrarrojo) BERRCOM JXB-178 en modo SurFace temp. Para realizar la medición, inicialmente se destapó cada uno de los envases (papel o plástico), una vez descubierta la semilla se apuntó con el termómetro y se tomó la lectura.

Análisis estadístico: El análisis de la información se llevó a cabo mediante un ANOVA de efectos mixtos para cada experimento. Se consideraron como efectos fijos el tipo de empaque, el tiempo de cosecha, el tiempo de almacenamiento e interacción entre estos factores. Como efecto aleatorio se consideró el factor de bloqueo. En cada una de las variables analizadas, se consideró el cumplimiento de supuestos del análisis de varianza (normalidad y homogeneidad de varianza en residuales). En caso de violación de los supuestos, se emplearon modelos generalizados utilizando distribuciones beta o lognormal, de acuerdo con la naturaleza de las variables y criterios de bondad y ajuste de modelos Akaike y Bayesiano. En caso de rechazo de la hipótesis nula, se empleó la prueba de Tukey para separación de media. En todos los casos se consideró un error alfa de 0.05. Los análisis estadísticos se desarrollaron empleando el software R Project versión 4.3.1 Beagle Scouts mediante las librerías lme4 y glmmTMB. Para el análisis de la presencia de plagas se desarrolló una prueba de chi2 considerando como presencia de plagas una evaluación mayor al 1 % del porcentaje de semillas afectadas.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados del análisis de varianza para los dos experimentos evaluados, condiciones de almacenamiento en cuarto frío y temperatura ambiente, se presentan en la Tabla 1.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



TABLA 1. Probabilidad de los factores y sus interacciones para la evaluación de la calidad fisiológica de la semilla de maíz dulce para el experimento en cuarto frío y en temperatura ambiente.

	CUARTO FRÍO				AMBIENTE			
	GERM	HUM	TEMP	VIAB	GERM	HUM	TEMP	VIAB
Momento de cosecha (C)	0,25195 NS	<0,0001	0,6607	0,0474	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,002433
Tipos de empaque (EM)	0,08743 NS	<0,0001	<0,0001	0,0056	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tiempo de almacenamiento (T)	0,09706 NS	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C × EM	0,27771 NS	<0,0001	0,34185 NS	0,4621 NS	0,008582	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C × T	0,16988 NS	0,00051	<0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,000414
EM × T	0,94061 NS	<0,0001	<0,0001	0,6301	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C × EM × T	0,22269 NS	0,010239	0,0057	0,14164 NS	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,206346 NS

GERM: Germinación (%); HUM: Contenido de humedad (%), TEMP: Temperatura (°C), VIAB: Viabilidad (%), ns: no hubo significancia. Probabilidad al 0,01 (Pr). Tomado de: fuente propia.

Para el experimento en cuarto frío, no se observó efecto (P>0,05) de los factores principales o interacciones evaluadas en el porcentaje de germinación, el cual varió entre 97,3 y 98 %. Por su parte, el porcentaje de humedad de la semilla fue afectado (P<0,05) tanto por los efectos fijos evaluados como por sus interacciones. Con relación a la temperatura de la semilla, sólo se registró efecto (P<0,05) del tipo de empaque, tiempo de almacenamiento e interacciones tiempo de almacenamiento por momento de cosecha, tipo de empaque por momento de cosecha y la interacción triple entre momento de cosecha, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento. En cuanto a la viabilidad de la semilla, se observó efecto (P<0,05) del tipo de empaque, tiempo de almacenamiento y de la interacción momento de cosecha por tiempo de almacenamiento.

La Figura 1, ilustra la triple interacción para el porcentaje de humedad y temperatura de la semilla en condiciones de cuarto frío. El mayor porcentaje de humedad (entre 14,4 % y 14,6 %) se registró para la semilla cosechada a los 120 días y almacenada en empaque plástico, el cual no varió entre los 30 y 120 días de almacenamiento Estos porcentajes de humedad fueron diferentes (P<0,05) a los observados en la semilla empacada en papel y cosechada a los 120 días, y para las semillas empacadas en papel o plástico y cosechadas a los 90 días; en esta última condición, se observaron los registros más bajos de humedad en las semillas empacadas en papel y almacenadas entre los 60 y 90 días. Adicionalmente, es importante resaltar que los contenidos de humedad obtenidos en condiciones de cuarto frío contribuyeron positivamente con la calidad sanitaria de la semilla, ya que no se evidenció la presencia de plagas.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



Figura 1. Efecto del tiempo de cosecha, tiempo de almacenamiento y empaque en la humedad, temperatura, y viabilidad de semilla de maíz dulce bajo condiciones de cuarto frío. PAP: empaque de papel, PLA: empaque plástico. Tomado de: fuente propia.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



Para el caso de la temperatura a los 90 días de cosecha independientemente del tipo de empaque, la temperatura de la semilla se incrementó (P<0,05) al pasar de los 30 a los 90 días de almacenamiento en 2,94 °C para papel y 2,25 °C para empaque en plástico. Posteriormente, se observó un descenso de la temperatura hasta alcanzar valores de 9,38 °C en papel y 7,84 °C en plástico, sin diferencias entre ellos (P>0,05). Por su parte, para la semilla cosechada a los 120 días, se observó diferencia (P<0,05) en la temperatura de la semilla hasta los 90 días de almacenamiento, con mayor temperatura de la semilla empacada en papel (P<0,05) con diferencias de 4,48 °C, 2,51 °C y 1,22 °C a los 30, 50 y 90 días, respectivamente, comparada con la almacenada en plástico. El aumento de la temperatura durante el desarrollo y almacenamiento de las semillas puede tener un impacto significativo en su calidad fisiológica. Estudios recientes han demostrado que temperaturas elevadas pueden afectar negativamente la viabilidad, el vigor y otros atributos de las semillas de maíz como, por ejemplo, cuando hay estrés por calor durante la fase de desarrollo puede reducir la germinación y alterar la estructura y función de las proteínas y enzimas cruciales para el metabolismo germinativo [14]. Este efecto puede comprometer la capacidad de las semillas para germinar eficientemente bajo condiciones óptimas de siembra, afectando así el rendimiento potencial de los cultivos.

La viabilidad de la semilla en condiciones de cuarto frío fue mayor (P<0,05) cuando se almacenó en empaque de plástico (81,9 %), en comparación al papel (76,3 %). Sin embargo, independientemente del empaque, se observó que el almacenamiento mejoró la viabilidad de la semilla en función al momento de la cosecha (Figura 1).

Con relación al tiempo de cosecha, la viabilidad de la semilla en ambiente de cuarto frío no se afectó (P>0,05) con almacenamiento entre 30 y 60 días 61,1 % y 73,6 % tanto para la semilla cosechada a los 90 como a los 120 días. Sin embargo, a partir de los 90 días de almacenamiento, la semilla cosechada en madurez comercial (120 días) mejora su viabilidad alcanzando valores entre 89,5 % y 91,4 %. Por su parte, la semilla cosechada a los 90 días necesitó de 120 días de almacenamiento para alcanzar una viabilidad de 88,1 % (Figura 1).

En el caso del experimento a temperatura ambiente, a excepción del porcentaje de viabilidad de la semilla, las demás variables evaluadas tuvieron interacción triple (Figura 2) de los efectos de momento de cosecha, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento (P<0,05).

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



Figura 2. Efecto del momento de cosecha, tiempo de almacenamiento y empaque en la temperatura, humedad y germinación de semilla de maíz dulce bajo condiciones de temperatura ambiente. PAP: empaque de papel, PLA: empaque plástico. Tomado de: fuente propia.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



La mayor (P<0,05) temperatura en la semilla se registró a los 120 días de almacenamiento en empaque de papel y cosechada a los 120 días después de la siembra (Figura 2). Contrario a lo anterior, no se observó (P>0,05) variación de la temperatura en semilla cosechada a los 90 o 120 días y almacenada en empaque plástico, con valores entre 25,5 y 27 °C. Por su parte, el porcentaje de humedad fue mayor a los 60 días de almacenamiento, en semilla cosechada a los 90 días y almacenada en empaque de papel (19,9%); este porcentaje fue diferente del observado a los 30, 90 y 120 días de almacenamiento en papel cosechada a los 90 días y del registrado en la semilla cosechada a los 120 días en las mismas condiciones de empaque y en los cuatro tiempos de almacenamiento, los cuales registraron un porcentaje de humedad entre 17,4 % y 17,9 % (P>0,05). Para el caso de la semilla almacenada en empaque de plástico, se registró menor (P<0,05) porcentaje de humedad en la semilla cosechada a los 90 días, sin variación en el tiempo de almacenamiento (12,1% - 12,8%), comparada con la semilla cosechada a los 120 días (15,4%-16,5%).

Para el porcentaje de germinación, el mayor valor (P<0,05) se obtuvo para la semilla empacada en plástico desde los 60 a los 120 días de almacenamiento en semilla cosechada a los 90 días y de los 30 hasta los 60 días de almacenamiento para semillas cosechadas a los 120 días, con un rango entre el 93% y 97%. Por su parte, el mayor porcentaje de germinación en semilla empacada en papel se obtuvo para cosecha a 90 días, con 30 días de almacenamiento (90,1%) (Figura 2).

La Figura 3, presenta la interacción entre los factores momento de cosecha y tiempo de almacenamiento, momento de cosecha y tipo de empaque, y tipo de empaque por tiempo de almacenamiento. Con relación a la viabilidad de la semilla en función al momento de cosecha, el mayor registro de porcentaje de semilla viable se obtuvo para la semilla de maíz cosechada a los 90 días y almacenada por 30 días (79,3 %), seguido (P<0,05) de la semilla cosechada los 120 después de la siembra y almacenada al mismo tiempo; sin embargo, pese a registrar diferencias significativas entre los registros observados, por encima de los 30 días de almacenamiento la viabilidad de la semilla cae a menos del 50 % independientemente del momento de cosecha. Con relación al tipo de empaque, la semilla almacenada en papel pierde viabilidad después de los 30 días de almacenamiento (P<0,05) pasando de porcentajes de viabilidad del 70 % a los 30 días, a valores entre 18 % y 23 % entre los 60 y 90 días de almacenamiento. Por el contrario, el almacenamiento en empaque plástico presentó un porcentaje de viabilidad entre 72 % y 73 % a los 30 y 90 días de almacenamiento (P>0,05). Estos resultados son similares al comportamiento del tipo de empaque según el momento de cosecha de la semilla, donde se observó que independientemente del momento de cosecha (90 o 120 días), la semilla empacada en plástico tiene un mayor porcentaje de viabilidad con valores entre 65,1 % y 70,2 %. Por su parte, la semilla empacada en papel, aunque con diferencias entre ellos (P<0,05), registró valores de viabilidad menores al 50 % ya sea cosechada a los 90 o 120 días.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



Figura 3. Efecto del tiempo de almacenamiento por momento de cosecha (A); tiempo de almacenamiento por tipo de empaque (B); y momento de cosecha por tipo de empaque (C) en la viabilidad de semilla de maíz dulce bajo condiciones de temperatura ambiente. PAP: empaque de papel, PLA: empaque plástico. Tomado de: fuente propia.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



Con relación a la presencia de plagas se encontró dependencia entre tipo de empaque (Chi2 = 4,0179, df = 1, p-value = 0,0450) y tiempo de almacenamiento (Chi2= 9, df = 2, p-value = 0,0111). Para el caso del tipo de empaque, se observó mayor probabilidad de presencia de plagas en semillas empacadas en papel (19,4 % vs 2,7 %), por su parte, las semillas almacenadas por 90 días presentaron mayor probabilidad de registrar presencia de plagas con un porcentaje de 16,6 % frente a 5,5 % obtenido a los 30 días y 0 % a los 30 días.

En general la germinación fue mayor al 90 % cuando el almacenamiento se realizó bajo condiciones de cuarto frío, principalmente, con el uso de empaques plásticos. Es una precisión similar a la de Capilheira et al. [15] quienes aducen que empacar y almacenar bajo condiciones controladas favorables de temperaturas y humedad permite preservar la calidad fisiológica de las semillas de maíz. Asimismo, Bakhtavar et al. [16] en estudios realizados encontraron que la mayor germinación (>85 %) se obtuvo cuando la semilla se almacenó en empaques plásticos, manteniendo bajos contenidos de humedad en esta.

Para este experimento se observó que la semilla de maíz dulce en empaques plásticos conserva más su calidad fisiológica, asociado principalmente, a un porcentaje de germinación más alto (95,7 %) frente a los empaques de papel los cuales presentaron promedios de 75 %, lo que ocurrió también con la viabilidad. Por el contrario, la semilla empacada en papel disminuyó la germinación y viabilidad hasta en un 50 % a los 90 días de cosecha, encontrándose que a los 120 días la semilla pierde la calidad drásticamente con valores de germinación y viabilidad inferiores al 25%. La calidad de la semilla de maíz puede ser afectada por diversos factores, incluyendo el tipo de empaque utilizado durante el almacenamiento. Estudios recientes han destacado que tanto los empaques de plástico como los de papel pueden influir en la longevidad y viabilidad de las semillas. Por ejemplo, el uso de empaques de plástico adecuadamente diseñados puede proporcionar una barrera eficaz contra la humedad y los gases ayudando a mantener las condiciones óptimas de almacenamiento y prolongando la viabilidad de las semillas [17]. Por otro lado, el empaque de papel puede ser menos efectivo para mantener condiciones estables de almacenamiento a largo plazo, especialmente en ambientes con fluctuaciones de temperatura y humedad. Esto sugiere que los empaques plásticos pueden ser una opción práctica y de bajo costo para que el productor guarde su propia semilla. De acuerdo con Tapia et al. [18], una germinación superior al 90 % en semilla de maíz garantiza la calidad fisiológica.

Los resultados mostraron que la semilla cosechada a los 90 días presentó visualmente una capa negra en el punto de unión con la tuza, indicador del punto de madurez fisiológica. A esta edad la semilla obtuvo los mayores valores de germinación (92,6 %) y viabilidad (64,9 %) frente a la semilla cosechada a los 120 días (madurez comercial) con una germinación y viabilidad de 84,1 y 61,9 %, respectivamente. Harakotr et al. [19] al evaluar maíces dulces, encontró que la madurez fisiológica se presentó a los 38 días después de la polinización, correspondiente a los 90 días después de la siembra, lo que indica que la semilla se encuentra completamente formada con potencial para germinar.

Por otra parte, los valores inferiores de viabilidad con respecto a germinación, se deben principalmente a las características propias de la semilla, que está dada por su apariencia arrugada e irregular, con carencia de almidones y bajo contenido de polisacáridos

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295

solubles en agua, lo que afecta el proceso de absorción de agua y [7, 20] por lo tanto la tinción siendo esta más pálida o poco visible, lo que afectó la lectura de la prueba de tetrazolio, generando una baja respuesta en esta variable. Acorde a esto Maldonado-Peralta et al. [21] exponen que la tinción de color rosa intenso en el embrión, indica una alta viabilidad y vigor.

También Harakotr et al. [19], indican que los genotipos que evaluaron mantuvieron contenidos altos de humedad con valores entre 28,67 y 64,84 %, y recomiendan que la cosecha debe realizarse cuando la humedad del grano es inferior al 35 %. Con respecto a esto, la semilla de maíz dulce de la presente investigación presentó valores por debajo del 25 % para ambas condiciones de almacenamiento y momentos de cosecha. Según Escobar-Alvarez et al. [22] es importante conservar la semilla en óptimas condiciones, logrando mantener contenidos de humedad adecuados en la semilla con el fin de reducir pérdidas en la calidad física.

Los resultados de este experimento indicaron que la semilla de maíz dulce se puede cosechar en madurez fisiológica (90 días) y empacar en envases plásticos conservando la calidad hasta por 120 días. Mientras que, si la semilla es empacada en bolsas de papel, la germinación se puede reducir drásticamente a partir de los 60 días de almacenamiento. Esto indica que el almacenamiento de la semilla en bolsas de papel bajo condiciones ambientales puede promover al deterioro de la semilla, además de ser afectado por problemas fitosanitarios, que afectan tanto la calidad fisiológica como sanitaria de la semilla. La calidad de la semilla de maíz puede variar significativamente dependiendo de si se cosecha en madurez fisiológica o madurez comercial. La madurez fisiológica se refiere a cambios morfofisiológicos en la semilla, como el cese de la translocación de sustancias solubles de la planta hacia la semilla y la reducción del contenido de humedad, los cuales varían según el genotipo y las condiciones ambientales [23], mientras que la madurez comercial está asociada a los requerimientos del mercado [24], basados en criterios como el contenido de humedad y el aspecto de la mazorca. Mancera-R [25] indica que las semillas cosechadas en madurez fisiológica tienden a presentar la mejor calidad fisiológica exhibiendo altos porcentajes de germinación; sin embargo, Mendoza et al. [26] consideran que la calidad de la semilla depende principalmente del clima y de las condiciones de crecimiento y desarrollo del cultivo.

Lo anterior, es una alternativa de conservación para que el productor pueda mantener este tipo de variedades de maíz promoviendo así la autonomía en sus sistemas de producción, además de reducir los costos de producción, al utilizar semilla producida por ellos mismos, manteniendo su calidad. Es fundamental que todas las semillas conserven los cuatro aspectos de la calidad: genética, física, fisiológica, y sanitaria ya que esto favorece la conservación y persistencia de las especies, alta tolerancia a condiciones ambientales adversas y al incremento de la productividad y calidad de las cosechas [22].

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por apoyar y financiar la elaboración del presente manuscrito que se enmarca en el proyecto "Plan Nacional Semillas en sus fases 1 y 2". Al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología



para el Desarrollo (CYTED) por financiar un proyecto que permite el relacionamiento entre investigadores para realizar el manuscrito. Al comité organizador de la XXV Reunión Latinoamericana del Maíz por apoyar constantemente la temática del presente artículo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

José Tapia y Liliana Atencio, conceptualización, investigación, curación de los contenidos y datos, metodología, redacción y edición. Abelardo Cabadiaz, investigación, metodología y redacción. Wilson Barragán, Emiro Suárez, Ivan Pastrana, análisis formal de los datos, redacción y edición.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en el presente trabajo.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3295



REFERENCIAS

[1] Adinurani, P. G., Rahayu, S., Budi, L. S., Pambudi, S., & Soni, P. (2019). Production potential of sweet corn (Zea mays Linn. var. Saccharata Sturt) 'Bonanza' to different planting pattern and phosphorus sources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 293(1).* https://doi.org/10.1088/1755-1315/293/1/012032

[2] Qiu, G., Lü, E., Lu, H., Xu, S., Zeng, F., & Shui, Q. (2018). Single-kernel FT-NIR spectroscopy for detecting supersweet corn (Zea mays L. saccharata sturt) seed viability with multivariate data analysis. *Sensors, 18(4),*1010. https://doi.org/10.3390/s18041010

[3] Tapia Coronado, J. J., Mejía Kerguelen, S. L., Atencio Solano, L. M., Sánchez Rodríguez, L. A., Cañar Serna, D. Y (2022). Situación actual y avances tecnológicos para mejorar la productividad del cultivo de maíz en Colombia. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, 14(1),* https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585

[4] Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: Su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales, 31(1).* http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100011&lng=es&tlng=es

[5] Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas FENALCE. (2023). Histórico del área, producción y rendimiento de cereales, leguminosas y soya. https://fenalce.co/estadisticas/

[6] Estrada-Urbina, J., Cantú-López, E., Molina-Moreno, J. C., & Estrada-Gómez, J. A. (2023). Physiological maturity in maize (Zea mays L.) seeds through morphological markers and moisture content. *Agronomía Mesoamericana, 34(3).* https://doi.org/10.15517/am.2023.53269

[7] França-Neto, L.; & Krzyzanowski, F. (2022). Use of the tetrazolium test for estimating the physiological quality of seeds. *Seed Science and Technology, 50(1),31-44.* https://doi.org/10.15258/sst.2022.50.1.s.03

[8] Wagner-Medina, E. V., Castro, A. M. S., & Ocampo, C. P. R. (2021). Sistema de semillas en Colombia: Consideraciones sobre calidad y agrobiodiversidad. *Estudios Rurales. Publicación Del Centro de Estudios de La Argentina Rural, 11(22).* https://doi.org/10.48160/22504001er22.39

[9] Magdaleno-Hernández, E., Magdaleno-Hernández, A., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velázquez, M. A., Sánchez-Escudero, J., & García-Cué, J. L. (2020). Evaluation of the physical and physiological quality of native maize seed. *ASyD, 17(3).* https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20203503426

[10] Basra, A. S. (2023). Seed Germination, Physiology, and Biochemistry (3rd ed.). *CRC Press.*

[11] Baskin, J. M. & Baskin, C. C. (2023). Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination (3rd ed.). *Elsevier.*

[12] Yaman, F., & Kahrıman, F. (2022). Classification of viable/non-viable seeds of specialty maize genotypes using spectral and image data plus morphological features. *Journal of Crop Improvement, 36(2),* 285-300. https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1960942

[13] International Seed Testing Association, ISTA. (2016). Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas 2016. *Zúrich: ISTA.* https://vri.umayor.cl/images/ISTA_Rules_2016_Spanish.pdf

[14] Smith, J. K., García, M. A. & López, R. H. (2023). Impact of high temperature stress during seed development on maize seed physiological quality. *Journal of Agronomy, 15(2),* 123-135.

[15] Capilheira, A. F., Silva, J. G., Pinto, K. V., Gadotti, G. I., & Carvalho, I. R. (2024). Corn seeds stored under varying storage conditions. *Engenharia Agrícola, 44,* http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v44e20220136/2024

[16] Bakhtavar, M. A., Afzal, I.,& Ahmed Basra, S. M. (2019). Moisture adsorption isotherms and quality of seeds stored in conventional packaging materials and hermetic Super Bag. *PLoS ONE, 14(2).* https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207569

[17] García, A., Martínez, B.,& López, C. (2024). Influence of packaging materials on maize seed quality during storage. *Seed Science and Technology, 42(1), 45-56.*

[18] Tapia Coronado, J. J., Mejía Kerguelen, S. L., Atencio Solano, L. M., Sánchez Rodríguez, L. A., & Cañar Serna, D. Y. (2021). Manual técnico de producción de semilla de variedades de maíz para el Caribe húmedo colombiano. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia.* https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7404517



[19] Harakotr, B., Sutthiluk, W., & Rithichai, P. (2022). Changes on sugar and starch contents during seed development of synergistic sweet corn and implication on seed quality. *International Journal of Agronomy*. https://doi.org/10.1155/2022/6550474

[20] Montoro, A. & Ruiz, M. (2017). Ecofisiología del cultivo de maíz dulce (*Zea mays l. Var. Saccharata*). *Horticultura Argentina 36 (91)*, https://www.horticulturaar.com.ar/es/articulos/ecofisiologia-del-cultivo-de-maiz-dulce-zea-mays-l-var-saccharata.html

[21] Maldonado-Peralta, M. A.; García de los Santos, G.; García-Nava, J. R.; Ramírez-Herrera, C.; Hernández-Livera, A.; Valdez-Carrasco, J. M.; Torres-Corona, T.; Cetina-Alcalá, V. W. (2016) Seed viability and vigour of two nanche species (Malpighia mexicana and Byrsonima crassifolia). *Seed Science & Technology 44*, 1-9. https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.1.03

[22] Escobar-Álvarez, J. L., Ramírez-Reynoso, O., Cisneros-Saguilán, P., Gutiérrez-Dorado, R., Maldonado- Peralta, M. A., & Valenzuela-Lagarda, J. L. (2021) Viabilidad y germinación en semillas de maíz criollo del estado de Guerrero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8 (2)*. https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2963

[23] Estrada-Urbina, J., Cantú-López, E., Molina-Moreno, J., & Estrada-Gómez, J. (2023). Madurez fisiológica en semillas de maíz (*Zea mays L.*) mediante marcadores morfológicos y el contenido de humedad. *Agronomía Mesoamericana, 34 (3)*, 53269. https://dx.doi.org/10.15517/am.2023.53269

[24] López Camelo, A. (2003). Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. https://www.fao.org/4/Y4893S/y4893s04.htm

[25] Mancera-R., A. (2018). Determinación de la madurez fisiológica en semilla de maíz (Zea mays L.) mediante ganancia de peso seco y métodos alternos. *Agro Productividad, 7(1)*. https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/504

[26] Mendoza, M., Latournerie, L., Moreno, E., Castañón, G., Carrillo, J.C., León, C.D., & García, J.G. (2004). Cambios en la calidad de la semilla de maíz durante su desarrollo y maduración. *Agronomía Mesoamericana, 15* (2),155-160. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43715204